

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POUŽITÍ ODLITKŮ Z HOŘČÍKOVÝCH SLITIN

APPLICATION OF MAGNESIUM ALLOYS CASTINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VÍTĚZSLAV PERNICA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROMÍR ROUČKA, CSc.

BRNO 2008

ABSTRAKT

Slitiny hořčíku mají pro své vlastnosti stále nevyužitý potenciál v technických aplikacích. Historie kovu není dlouhá, první aplikace jeho slitin začaly na začátku 20. století. Hořčík má tu vlastnost, že je velmi lehký. Váží o třetinu méně než hliník a je třetím nejužívanějším konstrukčním kovem. Problematická je však jeho příprava a zpracování, jelikož má hořčík vysokou afinitu ke kyslíku. To se projevuje intenzívním hořením. Během století vývoje se zdokonalila jak výroba, tak slitiny. Využití slitin hořčíku nabylo většího významu a nejvíce se uplatňuje zatím v automobilovém průmyslu. V poslední době expanduje poptávka nejvíce v elektrotechnice. Další využití lze najít v letectví, energetice, armádě a mnoha dalších odvětvích.

Klíčová slova

Hořčík, hořčíkové slitiny, elektron, AZ91, použití slitin hořčíku

ABSTRACT

Magnesium alloys are still idle in technical applications because of their properties. The history of metal is not very old, the first application of its alloy started on the beginning of the 20th century. Magnesium is very light. Its weight is about one third less than the weight of aluminum and it is the third most frequented structural metal. However its preparation and processing can be problematical because magnesium has high affinity to oxygen. It causes intensive burning. During the century of stature have been improved both production and alloys. The usage of magnesium alloys took more importance and it is the most used alloy in automotive field sofar. Recently its demand expands mainly in electrotechnics. Next usage we can find in aeronautics, energetics, military and many other branches.

Key words

Magnesium, magnesium alloys, elektron, AZ91, applications magnesium alloys

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PERNICA, V. Použití odlitků z hořčíkových slitin. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 30 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Použití odlitků z hořčíkových slitin vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně, dne 22.5.2008

.....

Vítězslav Pernica

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Jaromíru Roučkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 HISTORIE HOŘČÍKU A JEHO VÝVOJ.....	9
1.1 Objev a začátky produkce.....	9
1.2 Historie vývoje slitin.....	9
2 HOŘČÍK.....	11
2.1 Vlastnosti hořčíku.....	11
2.2 Zdroje, výroba a použití.....	12
2.3 Světová výroba.....	13
3 HOŘČÍKOVÉ SLITINY.....	14
3.1 Legující prvky ve slitinách.....	15
3.2 Označování slitin.....	16
3.3 Slévárenské slitiny hořčíku.....	19
3.4 Tvářené slitiny hořčíku.....	20
3.5 Technologické vlastnosti slitin hořčíku.....	21
3.6 Zpracování.....	21
3.6.1 Tavení.....	21
3.6.2 Odlévání.....	22
4 POUŽITÍ ODLITKŮ Z HOŘČÍKOVÝCH SLITIN.....	23
4.1 Automobilní průmysl.....	24
4.2 Letecký průmysl.....	26
4.3 Elektrotechnický průmysl.....	26
4.4 Armádní průmysl.....	27
4.5 Energetický průmysl.....	28
4.6 Ostatní oblasti použití.....	28
ZÁVĚR.....	29
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	30

ÚVOD

V současné době jsme svědky rychle postupující globalizace ve všech průmyslových odvětvích. Společnosti vyspělé technologie stále více spoléhají na technický a ekonomický potenciál inovačních materiálů pro úspěšnou konkurenci na trhu.

Politika a veřejnost vyžadují ekonomičtější využití vzácných primárních zdrojů energií. Jeden z hlavních cílů pro další desetiletí bude další snižování emisí, aby se snížily dopady na životní prostředí. Uvažování tímto směrem je tedy využití lehkých konstrukčních kovů. Snižování hmotnosti využíváním materiálů s vysokými hodnotami materiálového faktoru pevnost/hmotnost se preferuje zejména v automobilovém a leteckém průmyslu. Hlavními možnostmi snižování hmotnosti je využívání perspektivních slitin lehkých kovů, záměna materiálu, změna konstrukce či vylehčení dílů konstrukčně. Hlavní faktory ovlivňující volbu materiálu jsou redukce spotřeby paliva, provozní bezpečnost, korozní chování, recyklace, nízké výrobní náklady.

Ačkoli slitiny hořčíku vyhovují požadavkům kladených na inovační materiály s nízkou měrnou hmotností s vynikající obrobitelností a dobrým recyklačním potenciálem, nejsou ještě užívány ve stejné míře jako konkurenční materiály (hliník a plasty) a nadále čekají na 100% využití svého potenciálu. Jedním z důvodů proč je hořčík pozadu je vysoká cena základních surovin a také různorodost hořčíku k potřebám spotřebitele omezená na několik technických slitin. Tam je bohužel nedostatek „know how“ v použití a výrobě hořčíkových slitin. Následkem toho průmysl inklinuje k užívání konvenčních materiálů.[1]

V posledních letech však hořčík zaznamenává stále větší uplatnění. Důvodem je již zmíněný zvyšující se důraz na energetickou a ekologickou šetrnost navrhovaných strojů. Po řadě let se tak stává třetím nejužívanějším konstrukčním kovem a jeho celosvětová produkce zaznamenává takřka exponenciální růst.

V našem průmyslu jsou používány slitiny hořčíku podstatně méně než slitiny hliníku, proto jsou technické veřejnosti obecně málo známé. V české literatuře jim dodnes nebyla věnována patřičná pozornost. Většina informací a se tak po léta získávají ze zahraniční literatury.[3]

Cílem této práce je tedy seznámit čtenáře s hořčíkovými slitinami a jejich použitím.

1 HISTORIE HOŘČÍKU A JEHO VÝVOJE

1.1 Obejev a začátky produkce

Na konci 17. století se síranu hořečnatého (tzv. hořké soli) používalo v léčitelství. Oxid hořečnatý byl na počátku 18. století nazýván jako hořká zemina. První, kdo rozpoznal hořčík jako prvek byl Joseph Black roku 1755. Avšak v elementární formě jej jako první z chloridu hořečnatého izoloval sir Humphrey Davy roku 1808 a je považován za objevitele prvku. Zprvu ho nazýval magnalium, později byl přejmenován na název magnesium známý dodnes. V roce 1828 vyrobil Alexander Bussy malé množství čistého hořčíku ohřevem chloridu hořečnatého za pomoci draslíku jako redukovač. O dva roky později opakováním Bussyho testů získal Justus von Liebig několik gramů hořčíku, které stačily k určení fyzikální a chemické vlastnosti.[10]



Technologická produkce začala ve Francii v 1857 zásluhou Henri St. Claire - Deville und H. Carona. Roku 1864 začala první firma Johnson und Matthey s průmyslovou výrobou hořčíku nejprve v Anglii a potom v Bostonu (Massachusetts). Nicméně, kvůli továrním potížím tento podnik zůstal ne hospodárný. V roce 1866 se rozběhla první německá továrna Aluminium und Magnesiumfabrik Hemelingen pro elektrolytické vyprodukování hořčíku z karnalí. Cena hořčíku kolem roku 1870 byla asi 500 marek za kg. V té době byl často užíván také jako signální světlo a pro pyrotechnické účely. [10]

1.2 Historie vývoje slitin

Historii vývoje slitin hořčíku lze stručně shrnout v následujících obdobích:

Vývoj v letech 1910-1930

Na začátku tohoto období společnost Chemische Fabrik Griesheim - Elektron registroval první patent na slitinu hořčíku jako konstrukční materiál s názvem "Elektronmetall". V roce 1919 dostal podnik Elektron - Gesellschaft patent na první válcovnu plechu pro slitiny hořčíku a o tři roky později už byl vyroben první a patentován první píst ze slitiny hořčíku. Vývoj nenechal na sebe čekat a technik Fritz von Opel použil ke zvýhodnění váhy u závodního motocyklu klikovou skříň a písty z hořčíkových slitin. Navržená lehká konstrukce byla s technickými vytríbenostmi měla necelých 70 kg a stala se obavou pro konkurenty. Další patenty se vztahovaly k odlévání a zpracování slitin hořčíku. Koncem 30-tých let začala italská společnost Soc. Isotta Fraschini užívat výlisky pro letecké motory.[10]

Vývoj v letech 1930-1965

Přibližně do roku 1960 se užívaly komerčně slitiny, které byly všechny založeny na systému Mg-Al-Zn-Mn. Většina součástí byla vyprodukovaná jako slitina AZ91 (označování Mg-slitin je uvedeno dále). V Severní Americe byly k dispozici dvě verze této slitiny AZ91A a AZ91B. Druhá jmenovaná slitina byla užívaná značně více než slitina AZ91A, která měla nižší obsahy mědi a byla specifikovaná jen když byla požadována odolnost proti korozi. Automobilka Volkswagen(VW) preferovala slitinu, jako nepatrnou variantu AZ91, slitinu o obsahu hliníku 8%. Tato modifikace poskytla vyšší tažnost na úkor mírně snížené pevnosti v tahu. [2]

Právě u této německé automobilky započal používání hořčíkových slitin v automobilovém průmyslu roku 1933 Prof. Ferdinand Porsche, který byl pověřen navrhnout „lidové“ vozidlo. Již u prvního modelu „Brouka“ bylo použito více jak 20 kg Mg na jedno vozidlo. První součástky byly odlévány gravitačně, následovala produkce malých částí tlakově litých a to již od 50. let.[2]

Vývoj v letech 1965-1975

Kolem roku 1965 prvořadí hořčíkový producenti jako Dow, Norsk Hydro, NL Industries začali s hodnocením alternativních systémů s cílem rozvíjení slitin s podobnou mezí pevnosti, slévateľností, cenou a hlavně lepší mezí pevnosti za zvýšených teplot. Studované byly hlavně efekty přísad křemíku, vzácných zemin a vápníku do soustavy Mg-Al. Nakonec žádná z těchto variant nebyla sledovaná komerčně.

Zdaleka nejúspěšnější vývoj slitin v této době byl systém Mg-Al-Si-Mn. NL Industries a Dow a publikovali data jejich vyvinutých slitin AS41, AS21 a AS 11. Pouze AS41 slitina byla plně využívána, další slitiny, ačkoli měli dokonce vyšší meze tečení, jsou obecně považovány za "obtížné". Nicméně VW začal postupnou změnu z AZ81 na AS41 a do 1971 byla více jak polovina jejich produkce v nové slitině. Po několik let byly také použity slitiny AS21 použité hlavně na klikové skříně. NL industrie pokračoval ve výzkumu tlakově litých slitin a kolem roku 1970 přišli s novými slitinami ZA124 a AZ88 mající větší odolnost proti korozi, tekutost a dokonce větší odolnost proti tečení. Nízká tažnost a zvýšená hustota kvůli vysokým obsahům zinku a hliníku byla důsledkem toho, že žádná tato slitina nenašla komerční aplikaci. Vysoký zájem o kola z hořčíku na vozidla vedla k tomu, že byla vyvinutá další slitina vyhovující pro tuto speciální aplikaci a to slitina AM60. [2]

Vývoj v letech 1975-1990

Po přívalu vývojové aktivity vyvinuli výrobci způsoby odstranění nežádoucích nečistot jako je železo, měď a nikl. Tyto prvky mají relativně nízkou rozpustnost v hořčíku a srážejí se tak v jemných částicích či sloučeninách a způsobují korozi. Zavedením nových metod technologického postupu se snížili nečistoty ze 100- 200 ppm na cca 20 ppm. Efekt zvýšené odolnosti proti korozi byl překvapivý. Slitiny byly konkurenceschopnější a mohli být použity nechráněné ve většině automobilových aplikací. Toto zlepšení v

odolnosti proti korozi bylo pravděpodobně nejdůležitější mezí ve vývoji hořčíkových slitin, a je velkou měrou zodpovědno za rostoucí použití slitin dodnes. V roce 1990 Dow publikoval informaci o slitině AE42 s podobnými mechanickými vlastnostmi jako dostupné slitiny, ale nejdůležitější byla mez tečení překračující všechny slitiny za zvýšených teplot. Byla použitelná až do 200°C.[2]

Aktuální vývoj

„Nový věk“ vývoje slitin začal koncem 80-tých let a pokračuje dodnes. Vedle konvenční slitiny AZ91 a jsou vynikající slitiny a nabízejí dobrou rovnováhu mezi klíčovými vlastnostmi, to jest vynikající slévateľnost, dobré mechanické vlastnosti v teplotě okolí, dobrá odolnost proti korozi, relativně nízká cena, snadná manipulace. [1,2]

Nicméně, dvě hlavní oblasti ke zdokonalení jsou lepší tažnost a lepší pevnosti za zvýšené teploty. Žádný z těchto požadavků není nový, ale prudký vzrůst užívání hořčíkových slitin v různých odvětvích průmyslu včetně automobilového, obnovily opět rozvoj v těchto oblastech. Společnost CAST vyvinula novou slitinu AMC-SC1 pro použití v zvýšených teplotách např. bloky motorů. Tato nová slitina poskytuje příležitost k významné expanzi v použití hořčíku. Další slitiny byly vyvinuté např. pro dekorační součásti, které poskytují vynikající povrchovou úpravu, recyklovateľnost a úspory nákladů ve srovnání s jinými materiály. Naproti tomu jsou také vyvíjeny ochranné nátěry proti korozi s požadavky na šetrnost k životnímu prostředí.

2 HOŘČÍK

2.1 Vlastnosti hořčíku

Hořčík, chemická značka Mg (latinsky Magnesium), je lehký středně tvrdý stříbrolesklý kov. Je druhý nejlehčí z kovů alkalických zemin. Je těžší než voda, vede hůře teplo a elektrický proud. Krystalizuje v těsné hexagonální soustavě, proto je za studena málo pevný a špatně tvárný. Má jen jeden skluzový systém, což je i příčinou jeho anizotropních vlastností. Tvárným se stává až od teplot 225 °C. Hořčík lze díky jeho dobré tažnosti snadno válcovat na plechy a dráty. Hořčík není tolik reaktivní jako další kovy alkalických zemin, a proto se neuchovává pod petrolejem nebo naftou, ale stačí nádoby se suchým vzduchem. Velmi dobře se slévá s jinými kovy, ale jen málo z nich má praktické využití, protože většina snadno oxiduje. Hořčík reaguje za normální teploty pomalu s kyslíkem a s vodou. Na suchém vzduchu se postupně pokryje vrstvou oxidu, která jej chrání před další oxidací, a lze jej takto uchovávat i poměrně dlouhou dobu. Při hoření hořčíku na vzduchu vzniká velmi intenzivní bílé světlo. S vodou reaguje hořčík za normální teploty velmi pomalu za vzniku hydroxidu hořečnatého. Při vyšší teplotě se hořčík slučuje velmi ochotně téměř se všemi prvky a i s některými sloučeninami.[1,7]

Charakteristika prvku

Atomové číslo	12
Relativní atomová hmotnost	24,3050
Teplota tání	650 °C (923 K)
Teplota varu	1090 °C (1363 K)
Elektronegativita (Pauling)	1,31
Měrná tepelná kapacita (při 20°C)	1,03 kJ/kg*K
Hustota (při 20°C)	1,738 g/cm ³
Atomový poloměr	1,62*10 ⁻¹⁰ m
Smrštění	4,2%
Modul pružnosti	45 GPa

2.2 Zdroje hořčíku, výroba, použití

V zemské kůře se vyskytují asi 2 % hořčíku, v mořské vodě je ho obsaženo 1,4 %. Hořčík se vyskytuje ve formě sloučenin, které obsahují různé minerály. Zdroje surovin pro výrobu hořčíku jsou rudy různého typu, využívá se však jen některé. Hlavní rudou je magnezit (MgCO_3), dolomit ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$), minerál karnalit ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$) a mořská voda. Jiné vhodné minerály mohou být kizerit nebo kainit.

Kovový hořčík se průmyslově vyrábí obvykle elektrolýzou roztavené směsi chloridu hořečnatého a chloridu draselného při teplotách 750 °C a další rafinací nebo silikotermickou redukcí vypáleného dolomitu ferrosiliciem při teplotě asi 1200 °C. Chlorid draselný slouží jako přísada ke snížení teploty tání chloridu hořečnatého. Chlorid hořečnatý se získává z mořské vody nebo z koncentrovaných roztoků mořské soli (solanka) nebo tavením karnalitu. Při elektrolýze se na grafitové anodě uvolňuje chlor a na železné katodě hořčík (chlorid draselný se začne rozkládat až po rozložení chloridu hořečnatého). Roztavený hořčík stoupá v tavenině na povrch a sbírá se děrovanými lžícemi.

Další tzv. termický způsob, dnes stále ještě hojně využívaný, spočívá v redukcí oxidu hořečnatého karbidem vápenatým nebo uhlíkem - karbotermický způsob nebo redukcí oxidu hořečnatého křemíkem - silikotermický způsob. Pyrometalurgickými způsoby výroby lze získat hořčík o čistotě 99,7 %, elektrolytickými postupy 99,9 %. Relativně malé množství je využíváno v chemickém průmyslu. Více než třetina produkce surového hořčíku slouží pro účely výroby hořčíkových slitin (odlitky, tvářené slitiny) a největší část výroby se používá jako legura nebo mikrolegura slitin železa a zejména slitin neželezných kovů. [11]

Hlavní oblasti použití hořčíku jako kovu:

- legovací přísada ve slitinách hliníku (asi polovina vyráběného hořčíku)
- vlastní slitiny
- odsiřování železa a oceli a výroba litiny s kuličkovým grafitem
- ochrana proti elektrochemické korozi ocelových součástí podzemních potrubí, skladovacích nádrží a domácích ohříváčů vody hořčíkovými

anodami

- redukční látka při výrobě titanu, berylia, zirkonu, hafnia a uranu
- složky pro pyrotechniku
- suché články a rezervní baterie, zejména v armádě
- desky pro světlotisk

2.3 Světová výroba

Hořčík zaznamenává ze všech neželezných kovů největší expanzi výroby. Je to způsobeno novými aplikacemi zejména v oblasti progresivních hořčíkových slitin pro automobilový průmysl, ale také i v oblasti legování hliníkových slitin hořčíkem (při stoupající výrobě hliníku) a využití hořčíku jako reaktivní látky při odsíření surového železa.

Jeho výroba elektrochemickou nebo termickou redukcí vyžaduje velký energetický vklad, sofistikovanou technologii a při výrobě je nutné čelit významným bezpečnostním rizikům a opatřením vůči životnímu prostředí. Oproti jiným neželezným kovům i při svém rozšíření v přírodě se hořčík vyrábí jen v několika zemích světa a jeho výroba je určitou charakteristikou technologické a ekonomické vyspělosti daného státu.[1]

Tab. 2.3 Statistika světové výroby primárního hořčíku[9]

Země	Výroba hořčíku (v 1000 t)					
	1996	1998	2000	2002	2004	2006
USA	142	117	74	35	43	43
Brazílie	9	9	9	7	11	6
Kanada	42	57	55	86	55	50
Čína	60	120	218	232	450	526
Francie	10	16	17	0	0	0
Israel	0	0	2	34	33	28
Kazachstán	12	15	10	10	14	20
Norsko	35	49	50	10	0	0
Rusko	51	53	40	52	45	50
Ukrajina	0	2	2	0	0	2
Srbsko	1	3	2	2	4	1
Celkem	362	441	479	476	655	726

Nejvýznamnějším světovým dodavatelem tohoto kovu byly tradičně Spojené státy americké dodávající do roku 1995 téměř polovinu světové produkce. Prudký vzestup výroby hořčíku v Kanadě a zejména v Číně způsobil, že USA postupně ztratili vedoucí postavení na trhu. Způsobilo to také zastavení výroby u nejznámějšího výrobce Dow – Chemical v Texasu. Čína tak převzala dominantní postavení na trhu a jejich podíl na trhu se ustálil zhruba na 60%, přičemž v roce 1995 činil jen 4%. Výroba ostatních států je znázorněna v tabulce.

Nové projekty výroby hořčíku představují do budoucna kapacitu 955 000 t hořčíku ročně. Toto množství reprezentují nové projekty v Austrálii, v Kanadě a také v Kongu, Holandsku, Islandě, Jordánsku a Abú Dhabí.[9]

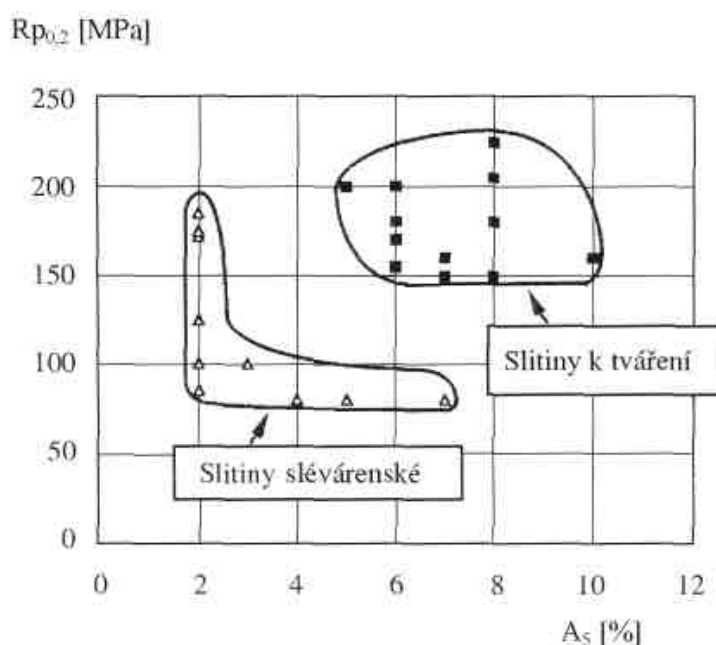
3 HOŘČÍKOVÉ SLITINY

Více než třetina z celkové produkce surového hořčíku slouží pro účely výroby hořčíkových slitin (odlitky, tvářené slitiny). Největší část výroby je použita jako legura nebo mikrolegura slitin železa a zejména slitin neželezných kovů. V posledních letech se tento poměr výrazně mění ve prospěch výroby slitin. Asi 90% slitin spadá do produkce odlitků vyrobených tlakovým litím.

Slitiny hořčíku mají nízkou měrnou hmotnost ($1\,700$ až $1\,900\text{ kg/m}^3$) a jsou téměř o třetinu lehčí než slitiny hliníku. Z pohledu mechanických charakteristik jsou slitiny hořčíku výhodnější než slitiny hliníku. Významnou výhodou slitin hořčíku je schopnost silné absorpce mechanických kmitů, tlumení vibrací všech frekvencí. Slitiny hořčíku jsou dobře slévateľné, mají nízkou teplotu tání, což zlepšuje některé další slévářenské vlastnosti. Při vhodné volbě legur se eliminuje výskyt slévářenských vad, jako jsou například mikrostaženiny nebo praskliny za tepla. [5]

Podle způsobu zpracování se slitiny hořčíku rozdělují na:

- slévářenské slitiny
- tvářené slitiny



Obr. 3 Porovnání nejvýznamnějších mechanických vlastností, meze kluzu a tažnosti slévářenských slitin Mg a slitin pro tváření.[5]

Z hlediska chemického složení se většina slévarenských slitin významně neliší od tvářených slitin. Slitiny k odlévání mají větší množství přísad a horší mechanické vlastnosti než slitiny pro tváření. Mají hrubé zrna a jejich krystalizace často probíhá odlišně od rovnovážného diagramu, čímž vznikají chemické nestejnorodosti, a proto je nutné tyto slitiny dlouhodobě homogenizačně žíhat pro zvýšení vrubové houževnatosti, kdy se odstraní eutektikum na hranicích zrn, které způsobuje křehkost po odlití. Po tomto cyklu může následovat ještě umělé stárnutí (přírodní by bylo velmi pomalé), které však nemá tak výrazné účinky jako u Al slitin. Na pevnosti se neprojeví, ale dojde k nárůstu meze kluzu. Hořčíkové slitiny je možné spojovat všemi obvyklými metodami např. svařováním, pájením, lepením, nýtováním a sešroubováním.[3]

Výhody (charakteristiky) hořčíkových slitin[1]:

- Nejnižší hustota (~1.8 g/cm³) ze všech kovových konstrukčních materiálů
- Vysoká měrná pevnost (mez pevnosti/hustota)
- Dobrá slévatelnost, vhodný pro vstřikování za vysokého tlaku
- Dobrá obrobiteľnosť
- Vysoká tepelná vodivost
- Vysoká rozměrová stálost
- Dobré elektromagnetické stínění
- Vysoké charakteristiky tlumení
- 100% recyklovatelnost

Nevýhody slitin hořčíku[1]:

- Nízké moduly pružnosti
- Omezená zpracovatelnost a nepoddajnost za studena (hcp mřížka)
- Omezená odolnost proti tečení v zvýšených teplotách ($T_m = 650^\circ\text{C}$)
- Vysoký stupeň smrštění při tuhnutí
- Vysoká chemická reaktivita (volná 3s² valenční elektronová struktura)
- Omezené užití v určitých korozních prostředích (potencial $v = -2.31\text{ V}$)

3.1 Legující prvky ve slitinách

Od příchodu slitin hořčíku bylo vynaloženo hodně úsilí k tomu jak správně ovlivnit čistý hořčík různými legujícími prvky. Ty nejdůležitější jsou uvedeny v tab. II.

Hlavní mechanismus pro zlepšování mechanických vlastností je vytvrzování vedené precipitací nebo rozpustností přísady v tuhém roztoku.

Tab. 3.1 Nejdůležitější legující prvky pro Mg-slitiny[1]

Al	Hliník zvyšuje pevnost v tahu a tvrdost. Tyto slitiny jsou obvykle tepelně zpracované (T6). Kromě těchto zlepšení mechanických vlastností, zlepšuje hliník také slévateľnost. To je hlavní důvod, proč nejvíce technických slitin - zvláště slévárenské slitiny (hlavně AZ91) - obsahují vysoké procento hliníku. Nevýhoda je vyšší tendence pro mikroporéznost.
Be	Beryllium je prvek dodávaný do roztaveného kovu v malých množstvích (<30 ppm); oxidace tak může být snížena výrazně.
Ca	Vápník má pozitivní účinek na zrna a rafinaci. Na druhé straně, vápník může vést do lepení k nástroji během odlévání a vzniku trhlin za tepla.
Li	Lithium vede ke zpevnění za pokojových teplot, redukuje hustotu, a zvyšuje tažnost. Nicméně, má silné záporné účinky na hoření a chování páry roztaveného kovu. Chování koroze se zhoršuje.
Mn	Mangan nad 1,5 % zvyšuje pevnost v tahu. Legování manganem má za následek lepší odolnost proti korozi, zjemnění zrn, a svařitelnost.
RE	Všechny vzácné zemní elementy (včetně yttria) tvoří eutektické systémy omezené rozpustnosti s hořčíkem. Proto, zpevnění srážení je možné a dává smysl. Precipitáty jsou velmi stabilní a zvyšují odolnost proti tečení, odolnost proti korozi, a vysokoteplotní mez pevnosti. Technické legující prvky jsou yttrium, neodým, a cer. Kvůli vysokým nákladům, tyto prvky jsou hlavně užívané ve vysoce technicky vyspělých slitinách.
Si	Křemík snižuje slévateľnost, ale odolnost proti tečení může být zvýšena.
Ag	Stříbro společně s vzácnými zemními kovy, silně zvyšuje pevnost za vysokých teplot a odolnost proti tečení, ale také vede k nízké odolnosti proti korozi.
Th	Thorium je nejefektivnější prvek pro zvýšení pevnosti za vysokých teplot a odolnosti proti tečení slitin hořčíku. Nicméně je radioaktivní a je proto nahrazován jinými prvky.
Zn	Zinek přináší stejné chování jako hliník. Zlepšuje slévateľnost a zvyšuje pevnost. Nad 3% zinku je smrštění kompenzováno vyšší pevností v tahu. Jako u hliníku je tendence k mikroporéznosti. Nad 2% Zn se mohou vyskytovat trhliny za tepla.
Zr	Přidání zirkonia vede k zvýšení pevnosti v tahu bez ztráty kujnosti, kvůli jeho blízkému vztahu ke kyslíku. Zirkonium nemůže být přidán k roztaveným kovům obsahujícím hliník nebo křemík.

3.2 Označování slitin

Donedávna byly slitiny hořčíku označovány v průmyslově vyspělých státech dle vlastních norem. V současné době je identifikace slitin hořčíku je normalizována celosvětově v ASTM normě. Podle této americké materiálové normy značka slitiny hořčíku sestává z kombinace velkých písmen a čísel, jejichž význam je následující:

- První část značky tvoří dvě písmena označující dva hlavní přísadové prvky. Písmena jsou seřazena v pořadí snižujícího se obsahu těchto prvků nebo abecedně, pokud jsou tyto obsahy stejné. Význam písmen je uveden v *tab.III*.
- Druhá část značky označuje množství těchto dvou hlavních přísadových prvků. Sestává ze dvou celých čísel odpovídajících zaokrouhlenému procentuálnímu obsahu obou prvků, sestavenému ve stejném pořadí jako první část značky.
- Třetí část značky rozlišuje mezi slitinami se stejnými obsahy obou hlavních přísadových prvků. Tvoří ji písmeno (I a O se nepoužívají) přiřazované v tom pořadí, v jakém jsou složení slitin normována.
- Čtvrtá část značky označuje stav slitiny. Od předchozích částí je oddělena rozdělovacím znaménkem. Sestává z písmene, po kterém následuje jedna nebo více číslic, které upřesňují daný stav, například T8 = po rozpouštěcím ohřevu, poté tvářený za studena a uměle stárnutý, H1 = slabě deformačně zpevněný. Význam písmen: F - v přirozeném stavu, O - žíhaný, H - deformačně zpevněný, T - tepelně zpracovaný.[3]

Před značkou slitiny se někdy nachází označení Mg. Naopak za značkou se může objevit označení HG. Tento pojem „high purity“ (vysoká čistota) byl zaveden počátkem 80. let k označení slitin s nízkým obsahem nečistot, jako jsou železo, nikl a měď. Slitiny s vysokou čistotou se používají díky své odolnosti proti korozi nejčastěji. Dnes mají všechny běžně používané slitiny hořčíku své verze HG, zejména pro tlakové lití.[3]

ASTM diktuje následující hodnoty složení (všechny hodnoty hmotnostní procenta):

Al 8.3-9.7; Zn 0.35-1.0; Si max. 0.10; Mn max. 0.15; Cu max. 0.30; Fe max. 0.005; Ni max. 0.002; ostatní max. 0.02. Železo, nikl, a měď má velmi negativní účinky na odolnost proti korozi a z toho důvodu tyto hodnoty jsou striktně omezené.[3]

Příklad: Slitina AZ91D je slitina s obsahem 9% hliníku (A) a 1% zinku (Z). Jeho vývojové stadium je 4 (D).

Tab. 3.2 Písmena označující prvky ve slitinách hořčíku dle ASTM[1]

Písmeno	přísadový prvek (anglický název)	přísadový prvek (český název)	značka prvku
A	Aluminium	hliník	Al
B	Bismuth	bismut	Bi
C	Copper	měď	Cu
D	Cadmium	kadmium	Cd
E	Rare Earth	vzácná zemina	vz.zemín
F	Iron	železo	Fe
G	Magnesium	hořčík	Mg
H	Thorium	thorium	Th
K	Zirconium	zirkonium	Zr
L	Lithium	lithium	Li

M	Manganese	mangan	Mn
N	Nickel	nikl	Ni
P	Lead	olovo	Pb
Q	Silver	stříbro	Ag
R	Chromium	chrom	Cr
S	Silicon	křemík	Si
T	Tin	cín	Sn
W	Yttrium	yttrium	Y
Y	Antimony	antimon	Sb
Z	Zinc	zinek	Zn

Dle platné ČSN EN 1754 - Hořčík a slitiny hořčíku, anody, ingoty a odlitky z hořčíku a slitin hořčíku používá k označení hořčíku a slitin hořčíku číslo i značka:

Označení číslem představuje desetimístný znak:

- první 4 místa jsou obsazena písmeny EN-M
- 5. místo písmenem: A - hořčíkové anody, B - ingoty z hořčíku a slitin hořčíku určené k přetavení, C - odlitky ze slitin hořčíku
- 6. místo číslicí označující hlavní prvek nebo hlavní slitinový prvek: 1 - Mg, 2 - Al, 3 - Zn, 4 - Mn, 5 - Si, 6 - RE (vzácné zeminy), 7 - Zr, 8 - Ag, 9 - Y
- 7. a 8. místo číslicemi určujícími skupinu slitin: 00 - Mg, 11 - MgAlZn, 12 - MgAlMn, 13 - MgAlSi, 21 - MgZnCu, 51 - MgZnREZr, 52 - MgREAgZr, 53 - MgREYzr
- 9. místo číslicí (počínaje 1) označující podskupinu slitin
- 10. místo číslicemi 0 až 9 rozlišujícími slitiny v podskupinách.

Označení značkou

První 4 místa jsou stejná jako v označení číslem, tedy EN-M. Poté následuje chemická značka hořčíku Mg a po ní chemické značky prvků, přičemž se uvádějí nejvíce 4 prvky. Za chemickou značkou daného prvku následuje bez mezery číslice označující jeho hmotnostní procento v označované slitině. [3]

Příklad označení slitiny hořčíku:

- číslem: EN-MC21120
- značkou: EN-MCMgA19ZnI.

Za tímto označením definujícím pouze materiál může následovat pomlčkou oddělené označení stavu (podmínek) tepelného zpracování.

Příklad:

- číslem: EN-MC21120-T4
- značkou: EN-MCMgA19ZnI-T4.

Poté může následovat pomlčkou oddělené označení způsobu odlévání.[3]

Příklad:

- číslem: EN-MC21120-F-D
- značkou: EN-MCMgA19ZnI-F-D.

3.3 Slévárenské slitiny hořčíku

V technické praxi se hořčík využívá výhradně jako slitina. Základem slévárenských slitin hořčíku jsou binární slitiny rozšířené o další legury za účelem zlepšení technologických vlastností, mechanických vlastností nebo zvýšení odolnosti proti korozi. Nejvíce užívaným hlavním přísadovým prvkem pro slitiny je hliník. Vedle systému Mg-Al jsou ještě systémy Mg-Zn a Mg-Mn, popř. Mg-Li. Další doplňkové kovy jsou Th, Zr, Si, Ag, Ti a kovy vzácných zemin (La, Ce, Nd, Pr, Se, Gd, Y).

Většina odlitků hořčíkových slitin se vyrábí tlakovým litím s vysokým stupněm produktivity a vysokou přesností výrobků, které bývají často velmi tvarově bohaté. Vysoká rychlost ochlazování způsobuje uzavření plynu, která způsobuje, že se tyto odlitky nedají svařovat a jsou nevhodné pro tepelné zpracování.[3,5]

Podle druhu přísadových prvků, tedy podle chemického složení, lze slévárenské slitiny hořčíku rozdělit následujícím způsobem.

Slitiny hořčíku s hliníkem

Slitiny typu Mg-Al-(Zn, Mn) jsou nejrozšířenější slitiny pro slévárenské účely známé pod jako „elektrony“. Mohou obsahovat ještě další legury (Zr, Th, Ag a Ce). Jsou nejstarší skupinou slévárenských slitin hořčíku. Jejich užité vlastnosti jsou dány existencí relativně široké oblasti tuhého roztoku 8 v rovnovážném diagramu Mg-Al a možností změnit chemické složení přidáním dalších prvků. Nejrozšířenější z těchto slitin jsou slitiny s obsahem 7 až 10 % Al. Slitiny s vyšším obsahem hliníku než 7 % jsou vytvrditelné, dochází k tvorbě diskontinuálního precipitátu fáze $Mg_{17}Al_{12}$ a bývají doplněny malým množstvím zinku a manganu.[5]

Slitiny hořčíku s manganem

Obsah manganu ve slitinách Mg-Mn bývá obvykle 1 až 2 %. Slitiny hořčíku s manganem mají zhoršené slévárenské vlastnosti (nižší zabíhavost, vyšší smrštivost). Jsou však svařitelné a mají vyšší odolnost proti korozi. Relativně nízké mechanické vlastnosti jsou způsobeny tendencí těchto slitin tvořit hrubé zrna v průběhu krystalizace. Zjemnění lze dosáhnout malými přídávky křemíku.[5]

Slitiny hořčíku se zinkem

Hořčíkové slitiny se zinkem se z hlediska strukturních složek podobají slitinám s hliníkem. Obsah zinku ve slévárenských slitinách bývá v rozsahu 0,3 až 5 %. Technické slitiny hořčíku se zinkem obsahují také mangan (z důvodu zvýšení odolnosti proti korozi) nebo zirkon, popř. ještě kovy vzácných zemin (RE). Tyto přísady výrazně ovlivňují mechanické vlastnosti a zvětšují oblast použitelnosti slitin zejména k vyšším teplotám (minimálně do teploty 300 °C). Slitiny se zinkem, zirkonem a kovy vzácných zemin mají např.

creepové vlastnosti lepší než žárovevné slitiny hliníku, a to při nižší měrné hmotnosti.[5]

Slitiny hořčíku s lithiem

Slitiny hořčíku s lithiem patří mezi nejlehčí a perspektivní konstrukční materiály. Dosahují velmi nízkých hustot $1\,300\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ až $1\,500\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Atraktivnost spočívá v poměru pevnost/hmotnost. Mají dvojnásobnou tuhost než ostatní komerční hořčíkové slitiny a asi pětkrát větší než hliníkové slitiny. Nedostatkem hořčíkových slitin s lithiem je velká reaktivita komponent v roztaveném stavu, malá odolnost proti tečení a nestabilita mechanických vlastností za pokojových teplot. Výroba slitin hořčíku s lithiem je provázena řadou metalurgických problémů spočívajících zejména v rozdílu teplot tání obou kovů. Tyto slitiny nejsou zatím komerčně užívané, jsou drahé a zatím byly využívány jen v kosmickém průmyslu a ve vojenském letectví.[5]

Slitiny hořčíku se skandiem

Jsou odolné proti creepu až do teplot $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Sc má teplotu tavení $1541\text{ }^{\circ}\text{C}$). Legování dalšími prvky jako je Y, Nd, La, Ce dává možnost dalšího zlepšení vlastností.[5]

3.4 Tvářené slitiny hořčíku

Slitiny hořčíku krystalizují v hexagonální, těsně uspořádané soustavě a vykazují za normální teploty pouze jeden skluzový systém. Tvárnost těchto materiálů se zlepšuje nad teplotou $220\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy vstupují do funkce další skluzové systémy a kdy se projevují rekrytalizační procesy. Plastická deformace by měla být podle typu slitiny volena tak, aby teplota tváření ležela nad teplotou solidu. Nejčastějšími technologiemi tváření je protlačování profilů, válcování plechů, popř. volné nebo zápusťkové kování. Tvářecí teploty tedy leží v intervalech: kování 200 až $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, protlačování 300 až $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ a válcování 400 až $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Slitiny můžeme podle legujících prvků rozdělit na:

- slitiny hořčíku s hliníkem a zinkem
- slitiny hořčíku s manganem
- slitiny hořčíku se zinkem a zirkonem.

Strukturně typy slitin pro tváření odpovídají slitinám slévarenským. Tvářená struktura však má svoje specifika. Pro tvářené slitiny se nepoužívají jako legury kovy vzácných zemin. Slitiny tvoří výrazné textury a s nimi spojenou anizotropii mechanických vlastností. Deformační zpevnění lze u slitin hořčíku využít pouze v omezeném rozsahu. Slitiny s hliníkem mají obvykle přísadu zinku (do $1,5\%$) a některé ještě přísadu manganu (zvyšuje odolnost proti korozi). Slitiny s manganem mají nízké mechanické vlastnosti, dobrou korozní odolnost a jsou výrobně i zpracovatelsky jednoduché. Mají dobrou tvárnost i svařitelnost. Vyrábějí se z nich výlisky a válcují plechy. Slitiny se

zinkem a zirkonem mají vhodnou kombinaci legur. Zinek zvyšuje mechanické vlastnosti, zirkon zjemňuje zrna. Nejvyšší mechanické vlastnosti mají slitiny po precipitačním vytvrzení. Poněkud specifické slitiny jsou slitiny s thoriem vyvinuté v Rusku. Tyto slitiny jsou vhodné pro vysoké teploty. Mechanické vlastnosti těchto slitin zůstávají stabilní až do teplot 350 °C. Procesy jako je válcování, protlačování, kování musí být prováděny za vyšších teplot. Teplota válcování je 400-450 °C, kování 360-380 °C a protlačování 375 - 380 °C.[1,5]

3.5 Technologické vlastnosti slitin hořčíku

Vyjma toho, že slitiny lze odlévat a tvářet za určitých podmínek, je možné provádět i jiné technologické operace. Spojování slitin hořčíku je možno provádět téměř všemi běžnými postupy. Při obloukovém svařování pod inertním plynem je třeba brát v úvahu specifika materiálu, přídavného kovu a tvaru svařovaných dílů. Jako přídavný materiál se bere s dostatečným výsledkem slitina, která se svařuje. Bodové a švové svařování vykazuje velmi dobré pevnosti spojů při aplikaci statického namáhání. Není však vhodné pro namáhání únavové nebo tam, kde svařenec bude podroben vibracím. Významná a perspektivní je technologie spojování hořčíkových slitin lepením. Únavové charakteristiky lepených spojů jsou lepší než u jiných postupů spojování. Při lepení nedochází ke vzniku koncentrátorů napětí (strukturním a mechanickým vrubům). Technologie se osvědčuje zejména u výrobků s malou tloušťkou stěn a je tedy přínosná zejména v leteckém průmyslu. Nýtování je u slitin hořčíku rovněž běžná technologie spojování. U plechů je však třeba dbát na kvalitu povrchu otvorů. Jemné praskliny vzniklé při prostřihování otvorů výrazně snižují nosnost spoje. Dalším problémem je volba materiálu nýtů. Nýty a základní materiál nesmí tvořit elektrické mikročlánky. Řezné obrábění je technologie tvarování pro hořčíkové slitiny velmi výhodná. Důvodem je vynikající obrobitelnost při použití velké škály řezných rychlostí. Obráběním za mokra v emulzích se dosahuje výborných kvalit obráběného povrchu. Pro obrábění se nejčastěji používají nástroje ze slinutých karbidů, rychlořezné oceli a nástroje keramické. Při použití olejovodných emulzí pro obrábění za mokra je třeba brát v úvahu možnost vývoje plynného vodíku, který je v koncentracích 4 až 74 % vznětlivý.[1,5]

3.6 ZPRACOVÁNÍ

3.7.1 Tavení

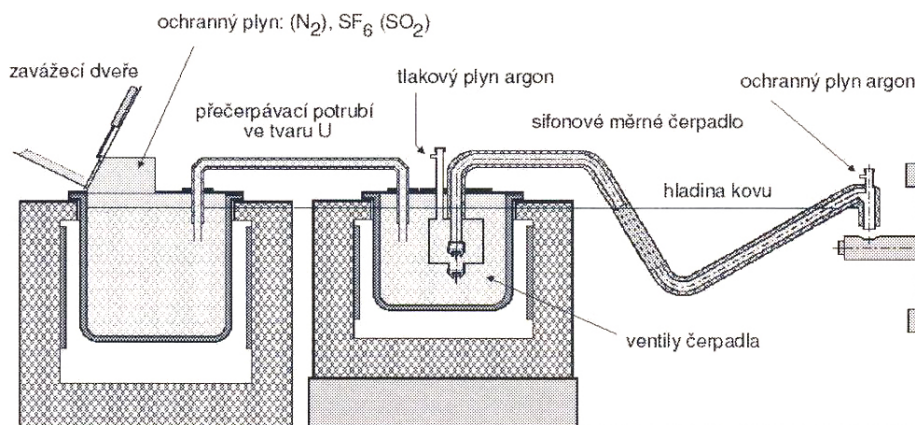
Vsázkové suroviny pro tavení slitin hořčíku jsou do sléváren dodávány v podobě housek s požadovaným chemickým složením. Složení se ve slévárnách běžně neupravuje. Kvůli výbušné reakci hořčíku ve vlhkém prostředí je nutné vsázkovat do pece pouze suchý materiál. Nejvhodnější je použít přehřívací a zavážecí stroj.[6]

V důsledku mimořádně velké afinity hořčíku ke kyslíku je přizpůsobena konstrukce pecí, vedení tavicího procesu a transport taveniny do forem. Tavení probíhá pod vrstvou ochranné strusky nebo v inertní atmosféře.

Probíhá v elektrických odporových (obr.3.7.1) nebo indukčních pecích, méně často ve spalovacích pecích vytápěných plynem nebo topným olejem.[6]

Tavící kelímky a jejich vyzdívka musí být voleny s ohledem na chemickou reaktivnost hořčíku. Na rozdíl od hliníku nereaguje hořčík se železem. Proto se hořčíkové slitiny často taví v ocelových kelímcích z uhlíkaté nebo nízkolegované oceli bez obsahu niklu.[4,6]

Při manipulaci s tekutým kovem je třeba zabránit kontaktu se vzduchem a zejména s jakoukoliv formou vlhkosti. Je nutno dbát na zabezpečení proti požáru. K uhašení se používá naprosto suchý písek nebo krycí soli.[4,6]



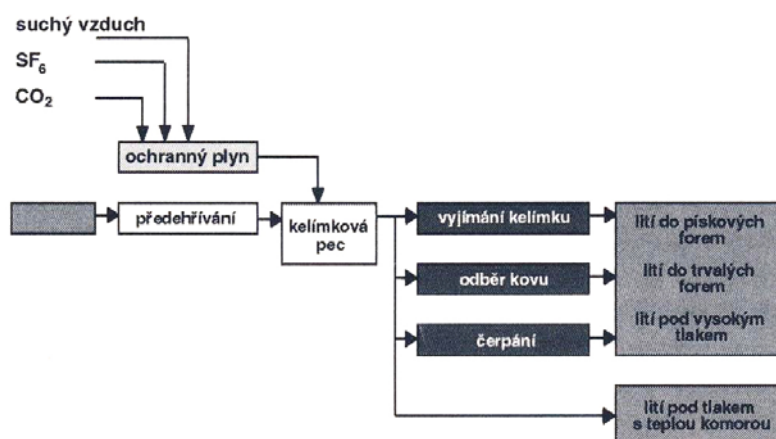
Obr. 3.7.1 Kelímková tavící a udržovací pec

3.7.2 Odlévání

Slitiny hořčíku lze odlévat různými metodami - gravitačním litím do trvalých či netrvalých forem, tlakovým litím nebo speciálními způsoby (Thixocasting, Thixoforming, Thixoforging, Thixomolding aj.). Vlastnosti hotových odlitků jsou ovlivněny použitou metodou odlévání. Pro daný způsob lití jsou obvykle doporučovány vybrané slitiny. Moderním způsobem velkosériové výroby odlitků ze slitin hořčíku s hmotností od několika gramů až 15 kilogramů (i více) je tlakové lití na strojích se studenou nebo teplou komorou používané zejména k odlévání součástí pro automobily. Na strojích s teplou komorou se běžně odlévají součásti o vstřikovací dávce do 2 - 3 kg. Typická tloušťka stěn odlitků bývá 2-4 mm, lze však odlévat i odlitky s tloušťkou stěny menší než 1 mm. K tlakovému lití jsou používány vybrané slitiny, jejichž vhodnost byla ověřena mnohaletou praxí. Nejčastěji používanou slitinou je AZ91.[4,6]

Nejvíce se používají postupy lití (obr.3.7.2):

- lití do pískových forem
- gravitační lití do kovových forem
- lití pod nízkým tlakem
- lití pod tlakem s teplou komorou
- lití pod tlakem se studenou komorou
- lití pod tlakem ve vakuu

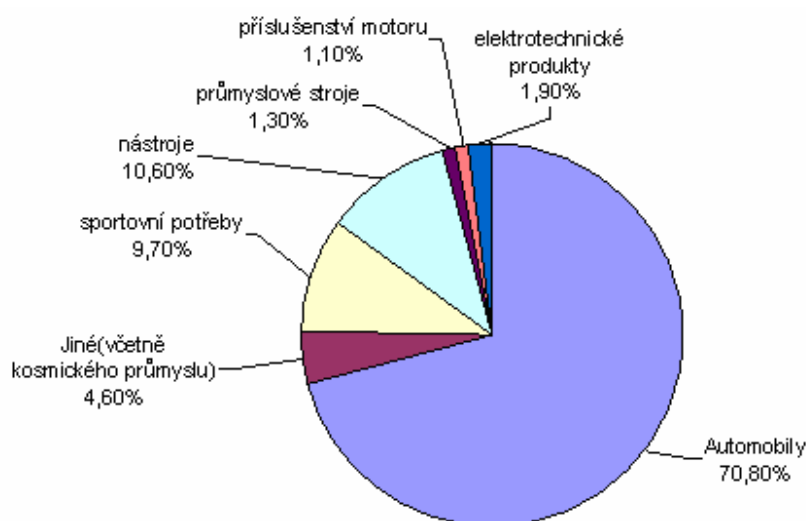


Obr.3.7.2 Postupy lití používané při výrobě odlitků hořčíkových slitin[5]

4 POUŽITÍ HOŘČÍKOVÝCH ODLITKŮ V PRŮMYSLU

V minulosti byl hnací silou za vývojem slitin hořčíku potenciál pro lehkou konstrukci v armádních aplikacích. V nynější době se klade důraz směrem k šetření váhy v aplikacích k tomu, aby se vyhovělo požadavkům na ekonomičtější použití paliva a nižší emise v čase rostoucího environmentálního dopadu. Hořčík je tedy jako ideální materiál na aplikace, kde váhové šetření je předností. Je nejjednodušší z konstrukčních kovů a téměř lehký jako plast. Konkuruje však větší tuhostí, elektromagnetickým odstíněním, trvanlivostí, odvodem tepla a plnou recyklovatelností.[1,3]

Uplatnění hořčíkových slitin lze nalézt v odvětvích průmyslu: automobilovém, leteckém, kosmickém, elektrotechnickém, energetickém a dalších. Jejich použití popisují následující podkapitoly.



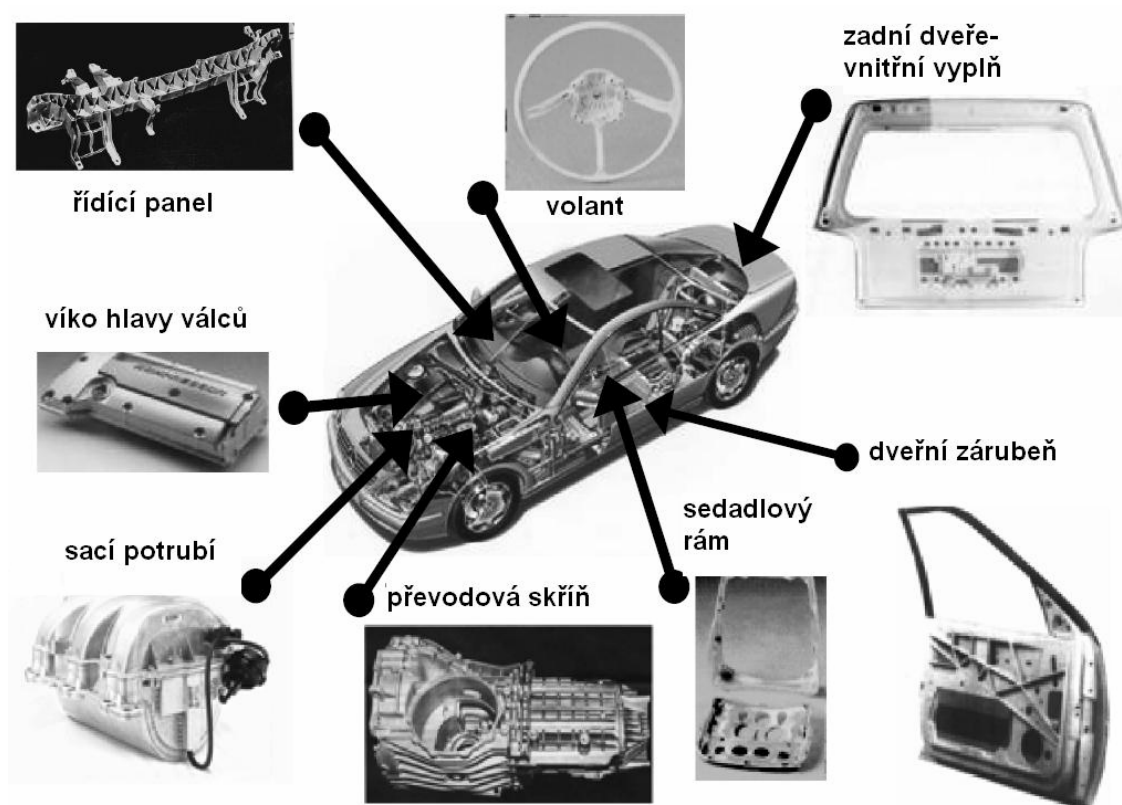
Graf 4 procento uplatnění v průmyslu

4.1 Automobilový průmysl

Automobilový průmysl je zdaleka nejvýznamnější uživatel slitin hořčíku ve velkém měřítku. Díky možnosti velkoseriové výroby s vysokou kvalitou v rozumných výdajích.

Jak již bylo uvedeno výše, hořčíkové slitiny se začaly komerčně užívat v autech v roce 1936, kdy byl představen Volkswagen Beetle. Další vývoj a užívání nenechalo na sebe dlouho čekat a dnes užívá hořčíkové slitiny v autech celá řada významných výrobců aut např. BMW, VW, Jaguár, Ford, Daimler Chrysler a další. Jde o konstrukční součásti např. vačkové kryty, těleso sedadla, volant, pedály, kola, ovládací panel, štíty bubnové brzdy, hlavy válců, dveřní součásti, sací potrubí, převodovky, víko palivové nádrže, různé držáky a mnoho dalších(viz. obrázky).[11]

Motoristický sport má celosvětově ještě delší tradici v užívání hořčíku než komerční sféra. Snížení hmotnosti dávalo soutěžním speciálům lepší konkurenceschopnosti. Nelze zapomenout též na motocykly.



Obr. 4.1a Schema užití odlitků na automobilu



b



c



d



e



f



g

Obr.4.1 b) volant,
c) převodová skříň[8],
d) ruční brzda [8]
e) sací potrubí[8]
f) olejová vana HONDA[8]
g) vačkový kryt[8]

4.2 Letecký průmysl

Historicky byl hořčík jeden z hlavních leteckých stavebních kovů a byl užíván v německých armádních letadlech už v I. světové válce a značně více v II. světové válce. Důvodem byly opět váhové úspory. Němci vytvořili slitině jméno „elektron“, užívané dodnes.

Kvůli rizikům s hořením tohoto kovu bylo užití značně omezené. Dnes se slitiny hořčíku používají jak v armádních, tak v civilních letadlech. Výrobky jsou součástmi motorů, tvoří tělesa převodovek, slouží jako kryty, úchyty a další konstrukční prvky.[11]

4.3 Elektrotechnický průmysl

Nízká hustota, dobré stínění proti elektromagnetickému záření, a možnost produkování tenkostěnných částí vedly k dalšímu použití součástí ze slitin hořčíku pro elektrotechniku. V posledních letech poptávka expanduje pro spotřebiče jako kamery, digitální fotoaparáty, projektory, přenosné počítače, kompaktní a mini diskové přehrávače, mobilní telefony a televizní skřínky.

Hořčík nabídl výhody ve všech hlediscích. Ačkoli hořčík má vyšší specifickou váhu než vyztužený plast, jeho pevnostně-hmotnostní poměr a tuhost jsou významně lepší. Umožňuje to vyrábět štíhlejší, lehčí součásti. Navíc, tepelná vodivost hořčíku je mnohonásobně větší než u plastu a odvádí tedy lépe teplo. Elektromagnetické stínění a recyklovatelnost hořčíku jsou také dobře vhodné k tomuto typu aplikace.

Dnes užívají hořčík přední výrobci např. Sony, Toshiba, Panasonic, Canon, JVC, Hitachi, Minolta, Nikon, NEC, Ericsson, IBM & Compaq. Díky jeho jedinečným fyzickým a mechanickým vlastnostem je materiál nyní zvažovaný pro širší řadu spotřebičů v domácnosti, ovšem s lepším výkonem a recyklovatelností součástí. [11]



a



b

Obr. 4.3 a) Část reproduktoru, b) tělo videokamery Sony[10]



c



d



e



f



g

Obr.4.3 c) ruční svítilna LED
 d) tělo mobilního telefonu[10]
 e) přenosný PC[13]
 f) ruční kamera[13]
 g) obal bezdrátového mikrofonu[13]

4.4 Armádní průmysl

Hořík a slitiny hoříku jsou často užívané pro armádní aplikaci a prostředky pro obranu. Užívají se v širokém okruhu jak v podobě odlitků, tak tvářených dílů. Jsou to různá tělesa radarů, vysílaček, rámu, přenosných zařízení, součástí výzbroje a výstroje obrněných vozidel, pěchoty a dalších.[11]

4.5 Energetický průmysl

V jaderných elektrárnách se užívá slitin hořčíku ke konzervárenským účelům uranu, jelikož neabsorbuje neutrony a barely jsou lehké.[11]

4.6 Ostatní oblasti použití

Mezi ostatní oblasti použití lze zařadit výrobky z hořčíkových slitin pro sportovní, užitkové a pracovní účely. Jsou to např. tenisové rakety, luky, hole, sněžnice, tělesa pro motorové pily, sekačky, ruční nástroje, žebříky, košíky, nosítka, vozíky, části jízdního kola, optika, rybářské navijáky, a další (viz obr.)



a



b



c



d

Obr.4.6 a) těleso řetězové pily[10]
b) vozík[12]
c) sněžnice[12]
d) pneumatický nastřelovák hřebů[12]

ZÁVĚR

Zavádění lehkých konstrukčních materiálů ve stavbě automobilů a letadel přispívá ke snižování zátěže životního prostředí a je jedním z nejdůležitějších současných trendů ve strojírenství. Významné místo patří i slitinám hořčíku.

Hořčík a jeho slitiny nabízí jako konstrukční materiál řadu výhod a charakteristických znaků. Automobilní průmysl začal již hořčíkové slitiny intenzivně používat. Ze začátku jen pro interiérové prvky jako je středový panel, přístrojová deska, volant ad. Dnes je trendem odlehčit i ostatní části automobilu-olejové vany, startéry, alternátory kola, části karoserie a dokonce i bloky motorů. Vlastnost, která omezuje aplikaci hořčíkových slitin a vede spíše k použití hliníkových slitin a plastů, je jeho horší korozní odolnost. Jejím zlepšení je cílem vývojářů.

Vzhledem k hlavní charakteristice slitiny, kterou je nízká hustota, se hořčík dostává do popředí zájmu. Díky svým slévárenským vlastnostem se hořčík odlévá výhradně tlakovým litím. Zde spočívají hlavní výhody hořčíku a jeho slitin před ostatními materiály. Tato technologie nabízí velké množství ekonomických výhod. Mnohé typy součástí nemohou být s ohledem na materiálové a technologické vlastnosti vyráběny z jiných materiálů či srovnatelnou technologií.

V České republice zdaleka neodpovídá nabídka a poptávka po výrobcích z hořčíkových slitin významu a využitelnosti, které slitiny nabízejí. Příčin může být několik. Skutečnost je taková, že je u nás pořád jeden jediný výrobce odlitků ze slitin hořčíku ČKD MOTORY a.s. Jiným důvodem a zřejmě důležitějším, je fakt, že teoretické znalosti a praktické zkušenosti se slitinami hořčíku nejsou u nás na takové úrovni, aby byly impulzem ke srovnávání kroku se zahraničím.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KAINER, KU. Magnesium - Alloys and Technologies. 1st ed. Weinheim: Wiley - VCH, 2003. 290 p. ISBN 3-527-30570-X
- [2] KAINER, KU. - MORDIKE, B.L. – Magnesium Alloys and their Applications. Wiley-VCH Verlag GmbH, 2000. 816 p. ISBN 3527302824
- [3] USTOHAL, U.-PTÁČEK, L. – Slitiny hořčíku na odlitky. Slévárenství. 2-3/2001, roč. 49, č. 2-3, s. 103-112. ISSN 0037-6825.
- [4] DORSAN, HW. – Tavení, odlévání a druhotné tavení slitin hořčíku ve slévárnách. Slévárenství. 2-3/2001, roč. 49, č. 2-3, s. 127-132. ISSN 0037-6825.
- [5] PTÁČEK, L. – Slévárenské slitiny hořčíku. Slévárenství. 2-3/2004, roč. 52, č. 2-3, s. 61-66. ISSN 0037-6825.
- [6] ROUČKA, J. – Metalurgie neželezných slitin. Akademické nakladatelství CERM. 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6
- [7] WIKIPEDIE, otevřená encyklopedie. Hořčík [online]. Dostupné na World WideWeb: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Hořčík>>
- [8] Magazin Autospeed. Magnesium - Coming Soon to a Car Near You. Dostupné na World WideWeb:<http://autospeed.com/cms/A_1103/article.html>
- [9] INTERNATIONAL MAGNESIUM ASSOCIATION. Industry statistics. Dostupné na World WideWeb: <<http://www.intlmag.org/statistics.html> >
- [10] INSTITUT OF MATERIAL SCIENCE. Magnesium – a short review of a construction material's history. Dostupné na World WideWeb: <<http://www.iw.uni-hannover.de/89.0.html?&L=1>>
- [11] MAGNESIUM ONLINE RESOURCE CENTER. Magnesium applications. Dostupné na World WideWeb: < <http://www.mg12.info/metallurgy/magnesium-applications.html> >
- [12] HIGH INTELLECT CO. Product Range. Dostupné na World WideWeb: < <http://www.hicotech.com.tw/index1.htm> >
- [13] MAGIC PRECISION. Our products. Dostupné na World WideWeb: <<http://www.mgprecision.com/products.htm>>